

4. Найманов А.Я., Никиша С.Б. Антинакипные энергетические аппараты в оборотном водоснабжении // Водоснабжение и санитарная техника, 1984. — № 2. — С. 22–23.
5. Найманов А.Я., Найманова А.А. О механизме воздействия электрообработки воды на накипеобразование в теплообменниках. // Теплоэнергетика, 1998. — № 7. — С. 59–61.
6. Найманов А.Я., Никиша С.Б. Исследование работы антинакипного электрического аппарата. // Промышленная энергетика, 1983. — № 11. — С. 43–45.
7. Алекин О.А. Основы гидрохимии. — Л.: Гидрометеоиздат, 1970. — 92 с.
8. Яковлев С.В., Краснобородько И.Г., Рогов В.М. Технология электрохимической очистки воды. — Л.: Стройиздат, 1987. — 312 с.

О Мальцев В.А., Николаев Н.Н., Янковская Э.В., 2006

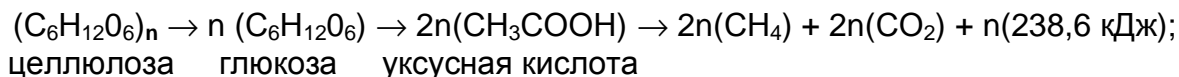
УДК 628.4

Краснянский М.Е., Бельгасем А. (ДонНТУ), Макарова Е.Н., Сбоева А.Н. (ДонгорСЭС)

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РОЛИ МИКРООРГАНИЗМОВ В БИОДЕГРАДАЦИИ ТБО

Проведены качественные и количественные исследования микроорганизмов в ТБО. Разработана теоретическая модель развития колонии микроорганизмов (МАФМ). Проведены экспериментальные исследования эмиссии «свалочного» газа на «лабораторной свалке» ТБО.

В теле полигонов твёрдых бытовых отходов (ТБО) имеют место три последовательные реакции:



В процессе биodeградации микроорганизмами разрушаются, прежде всего, С-С связи, в результате чего образуются высокоактивные радикалы типа CH_3 , которые способны участвовать в высокоэкзотермических реакциях (т.е. с выделением большого количества тепла):



Известно [1], что в процессе биоразложения ТБО участвуют два основных типа бактерий: аэробные (в верхнем слое ТБО, где достаточно кислорода) и анаэробные (в глубинных слоях ТБО, где существует дефицит кислорода). Кроме того, в данном процессе ограничено участвуют плесневые грибы.

Для исследований мы создали искусственную «микросвалку ТБО». В стеклянный сосуд диаметром 15 см закладывали слой ТБО толщиной 10 см: 180 г сухих ТБО (табл. 1) + 20 г «затравки» из бактерий и грибов + 100 мл воды для создания «естественной» влажности ТБО около 30%. Слой ТБО сверху присыпали слоем земли до 2 см. Сосуд закрывали негерметичной полиэтиленовой крышкой, при этом над слоем земли (до крышки) оставался воздушный слой в 20 см.

Качественные исследования, проведенные нами, показали наличие в «искусственной свалке ТБО» следующих микроорганизмов: *Pseudomonas* (аэробные бактерии, которые извлекают из органической массы ТБО углерод, образуя CO_2); *Azotobacter* (аэробные бактерии, которые извлекают из

органической массы ТБО азот); *Bacillus* (аэробные бактерии, которые разлагают белок с выделением аммиака); *Clostridium* (анаэробные бактерии, которые разлагают целлюлозу до кислот — уксусной, масляной и др.); *Methanococcus* (анаэробные бактерии, которые катализируют восстановление CO₂ водородом до метана) и некоторые другие.

Таблица 1. Средний компонентный состав полигонов ТБО г. Донецка

Компоненты	мас. %
Пищевые отходы	26
Бумажные отходы	14
Дерево, ветки, листья	10
Металл	4
Текстиль	3
Стекло	9
Пластмасса, кожа, резина	11
Камни	3
Отсев*	20
*) Около 1/3 отсева имеет органическую природу	

Количественные измерения были проведены нами только для «суммарного» состава микроорганизмов (так называемый «МАФAM» — мезофильные аэробные и факультативно анаэробные микроорганизмы). Подсчет проводился по следующей методике: пробу ТБО высевали в мясо-пептонный агар и выдерживали при температуре 37°C в течение 24 час.

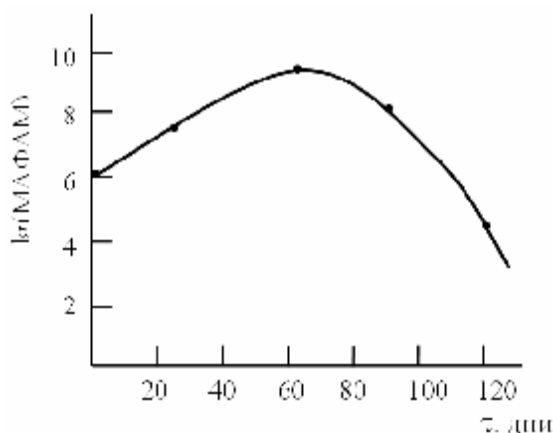


Рис. 1. Динамика изменения численности колонии микроорганизмов.

После инкубации подсчитывали (с помощью микроскопа) выросшие колонии в пересчете на 1 г сухих ТБО (так называемые КОЕ-колонии образующихся единиц).

Как следует из рис. 1, развитие колонии микроорганизмов в толще ТБО проходит через максимум, который приходится на 1/3 - 1/2 срока биодegradации свалки ТБО. Если проектный срок работы свалки 30 лет, то максимум эмиссии биогаза будет иметь место через 10 - 15 лет.

Для теоретического изучения динамики изменения численности колонии микроорганизмов в теле полигона нами была создана математическая модель, описываемая следующей системой уравнений:

$$dN/d\tau = \beta N - \gamma NR;$$

$$dR/d\tau = \lambda N,$$

где $N(\tau)$ — число активных микроорганизмов в ТБО; $R(\tau)$ — фактор «обратного катализа» т.е. сумма всех факторов, замедляющих или прекращающих рост колонии бактерий: отравление продуктами жизнедеятельности микроорганизмов, уменьшение количества пищи и др.; β , γ , λ — константы, которые определяются по данным экспериментальных исследований размножения микробных клеток $N(\tau)$.

Решая систему уравнений

$$\begin{cases} \frac{dN}{d\tau} = \beta N - \gamma NR \\ \frac{dR}{d\tau} = \lambda N \end{cases},$$

из первого уравнения получаем

$$R = \frac{\beta N - \frac{dN}{d\tau}}{\gamma N} = \frac{1}{\gamma} \left(\beta - \frac{1}{N} \frac{dN}{d\tau} \right). \quad (1)$$

Дифференцируя (1) и подставляя результат в левую часть второго уравнения исходной системы, имеем

$$\frac{1}{N^2} \left(\frac{dN}{d\tau} \right)^2 - \frac{1}{N} \frac{d^2 N}{d\tau^2} = \gamma \lambda N,$$

или

$$\frac{d^2 N}{d\tau^2} - \frac{1}{N} \left(\frac{dN}{d\tau} \right)^2 = -\gamma \lambda N^2. \quad (2)$$

Делаем замену:

$$\frac{dN}{d\tau} = p; \quad \frac{d^2 N}{d\tau^2} = p \frac{dp}{dN} \quad (3)$$

и после подстановки (3) в (2) получаем уравнение Бернулли

$$p \frac{dp}{dN} - \frac{1}{N} p^2 = -\gamma \lambda N^2. \quad (4)$$

В результате очередной замены

$$z = p^2 \frac{dz}{dN} = 2p \frac{dp}{dN} \quad (5)$$

уравнение (4) преобразуется в линейное уравнение

$$\frac{1}{2} \frac{dz}{dN} - \frac{1}{N} z = -\gamma \lambda N^2,$$

или

$$\frac{dz}{dN} - 2 \frac{1}{N} z = -2\gamma \lambda N^2. \quad (6)$$

Решаем однородное уравнение

$$\frac{dz}{dN} - 2 \frac{1}{N} z = 0, \quad (7)$$

разделяем переменные

$$\frac{1}{z} dz = 2 \frac{1}{N} dN, \quad (8)$$

и интегрируем

$$\ln|z| = 2 \ln|N| + \ln|\tilde{C}|, \quad (9)$$

где \tilde{C} — константа интегрирования.

Из (9) следует
$$z = \tilde{C} \cdot N^2. \tag{10}$$

Считая $\tilde{C} = \tilde{C}(\tau)$, подставим (10) в (6), тогда

$$\frac{d\tilde{C}}{dN} N^2 + 2\tilde{C}N - 2\frac{1}{N}\tilde{C}N^2 = -2\gamma\lambda N^2, \tag{11}$$

откуда
$$\frac{d\tilde{C}}{dN} = -2\gamma\lambda \quad \text{и} \quad \tilde{C} = C^2 - 2\gamma\lambda N, \tag{12}$$

где C^2 — константа интегрирования.

Подставим (12) в (10), тогда

$$z = N^2(C^2 - 2\gamma\lambda N), \tag{13}$$

а с учетом (5) и (3):
$$\frac{dN}{d\tau} = N\sqrt{C^2 - 2\gamma\lambda N}. \tag{14}$$

В уравнении (14) производим замену

$$\sqrt{C^2 - 2\gamma\lambda N} = t. \tag{15}$$

Получаем
$$N = \frac{C^2 - t^2}{2\gamma\lambda}; \quad \frac{dN}{d\tau} = -\frac{t}{\gamma\lambda} \frac{dt}{d\tau}, \tag{16}$$

и после подстановки (16) в (14) имеем

$$-\frac{t}{\gamma\lambda} \frac{dt}{d\tau} = \frac{C^2 - t^2}{2\gamma\lambda} t, \tag{17}$$

отсюда
$$\frac{dt}{t^2 - C^2} = \frac{1}{2} d\tau, \tag{18}$$

и после интегрирования обеих частей (18) получаем

$$\frac{1}{2C} \ln \left| \frac{t-C}{t+C} \right| = \frac{1}{2} \tau + C_1, \tag{19}$$

где C_1 — константа интегрирования.

Потенцируем (19), тогда
$$\frac{t-C}{t+C} = \bar{C} e^{C\tau}, \tag{20}$$

где $\bar{C} = e^{2C \cdot C_1}$.

Решением (20) является
$$t = \frac{C(1 + \bar{C}e^{C\tau})}{1 - \bar{C}e^{C\tau}}, \quad (21)$$

следовательно, в соответствии с (16)

$$N = -2 \frac{C^2}{\gamma\lambda} \frac{\bar{C}e^{C\tau}}{(1 - \bar{C}e^{C\tau})^2}. \quad (22)$$

Это и есть искомое решение.

Из (14) следует, что функция N ограничена и имеет максимальное значение N_m при $\tau = \tau_m$ только в частном случае, а именно при

$$\gamma\lambda = \frac{1}{2N_m} C^2. \quad (23)$$

В этом случае в соответствии с (22)

$$N = -4N_m \frac{\bar{C}e^{\bar{C}\tau}}{(1 - \bar{C}e^{\bar{C}\tau})^2}, \quad (24)$$

По начальному условию и известному значению функции в точке максимума составляем систему уравнений относительно констант C и \bar{C}

$$N_0 = -4N_m \frac{\bar{C}}{(1 - \bar{C})^2}; \quad N_m = -4N_m \frac{\bar{C}e^{C\tau_m}}{(1 - \bar{C}e^{C\tau_m})^2}. \quad (25)$$

Из первого уравнения следует:

$$\bar{C}^2 - 2(1 - 2\frac{N_m}{N_0})\bar{C} + 1 = 0. \quad (26)$$

Физический смысл имеет корень данного квадратного уравнения:

$$\bar{C} = -2 \left[\left(1 + \sqrt{1 - \frac{N_0}{N_m}} \right) \frac{N_m}{N_0} - \frac{1}{2} \right]. \quad (27)$$

Если принять
$$C = -\frac{1}{\tau_m} \ln(k\bar{C}) \quad (28)$$

и подставить (28) во второе уравнение системы (25), получаем, что $k = -1$.

В итоге
$$N = 4N_m \frac{\Delta^{1 - \frac{\tau}{\tau_m}}}{\left(\Delta^{1 - \frac{\tau}{\tau_m}} + 1 \right)^2}. \quad (29)$$

где $\Delta = -\bar{C}$.

Результаты численного расчета свидетельствуют, что с возрастанием времени τ количество микробных организмов в биомассе возрастает и на момент времени $\tau = 4$ час достигает максимального значения, которое при дальнейшем увеличении τ (свыше 14 час) асимптотически уменьшается до нуля (рис.2).

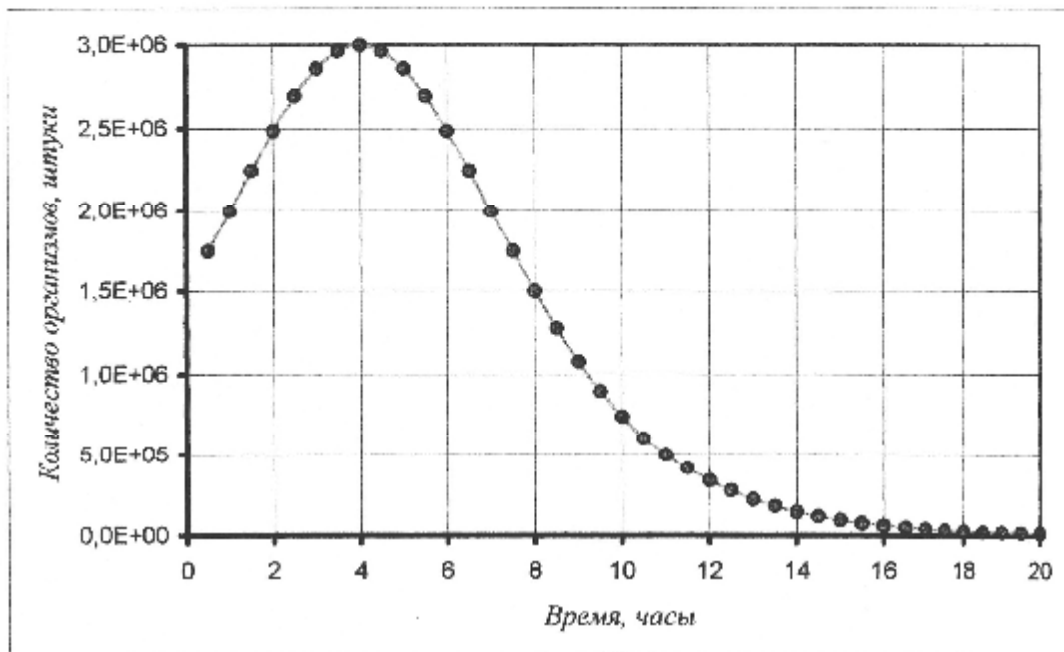


Рис. 2. Теоретическая кривая для численности МАФАМ.

Такое поведение функции $N(\tau)$ обосновывается тем, что на промежутке от 0 до 4 час скорость размножения микроорганизмов преобладает над скоростью их самоуничтожения, а в промежутке 4–14 час — наоборот.

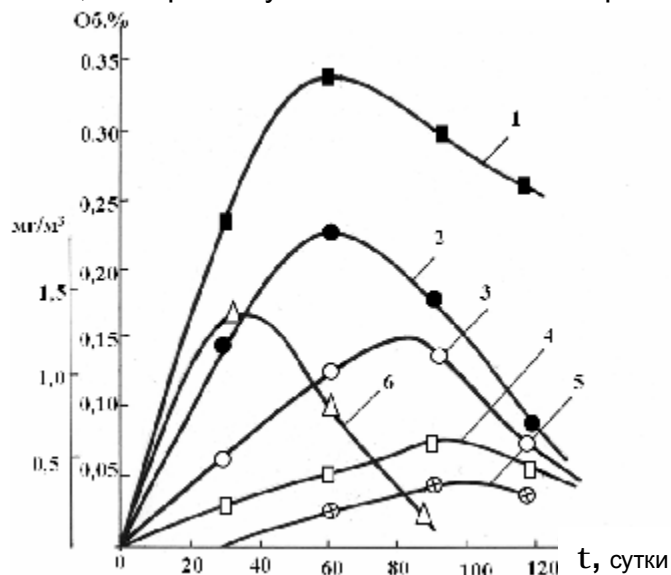


Рис. 3. Динамика эмиссии токсичных и «парниковых» газов из тела «лабораторной свалки» ТБО:

1 — диоксид углерода (об.%); 2 — метан (об.%); 3 — аммиак (мг/м³); 4 — сероводород (мг/м³); 5 — хлористый водород (мг/м³); 6 — формальдегид (мг/м³).

Для экспериментальной проверки динамики газовой выделения из «лабораторной» свалки ТБО нами проведен анализ газовых проб внутри

стеклянного сосуда над слоем ТБО. Анализ газовых проб выполнялся с помощью хроматографа «Модель-3700» (колонка длиной 2 м и диаметром 3 мм, молекулярные сита) а также фотокolorиметра ФЭК-56М.

Как видно из рис. 3, эмиссия газов из ТБО, обусловленная их биодеградацией, имеет сходный характер и проходит через максимум, что хорошо коррелирует с рис. 1 и 2.

Это означает, что и на реальных полигонах ТБО максимальная эмиссия биогаза со всей площади полигона (а это миллионы кубометров в год!) будет иметь место в период от первой трети до половины полного срока его эксплуатации.

Литература

1. **Gendebien A. and others.** Landfill gas. — Commission of the European Communities. — Brussels, 1992. — 865 p.

О Краснянский М.Е., Бельгасем А., Макарова Е.Н., Сбоева А.Н., 2006

УДК 621.794.42:546.56

Хоботова Э.Б., Ларин В.И., Добриян М.А., Голик Е.В., Даценко В.В.
(Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина)

РЕШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ТРАВЛЕНИЯ МЕДИ

Разработан малоотходный ресурсосберегающий способ регенерации отработанных растворов травления меди. Оптимизированы параметры протекания всех его стадий. Показаны преимущества данного технологического цикла травление-регенерация. Результаты работы могут быть использованы на практике в цехах изготовления плат печатного монтажа.

Отсутствие простых и экономичных способов регенерации сточных вод объясняет однократное использование многих технологических растворов и последующий их сброс. Данная проблема касается и участков травления меди при изготовлении плат печатного монтажа [1]. При травлении меди широко используются растворы на основе хлорида железа(III) [1,2], которые по мере насыщения медью становятся непригодными и требуют замены. Создание циклических безотходных участков травления и регенерации позволит решить ряд экологических проблем, стабилизировать процесс травления, повысить его производительность. На практике используют как химические, так и электрохимические способы регенерации [3–8], позволяющие выделять медь из раствора в порошкообразной или пластинчатой форме, в которой она может быть использована в промышленности.

Работа выполнена в рамках государственной программы охраны окружающей среды — 4-ое направление научно-исследовательских работ Министерства образования и науки Украины.

Целью работы являлось решение экологических проблем участков травления меди, в частности, снижение количества токсичных медьсодержащих вод. Решение этой проблемы связано с разработкой способа регенерации отработанных травильных растворов (ОТР) и оптимизацией параметров всех его стадий.